

УДК 681.518.2:621.391 (045)

Л.М. Блохін, д.т.н., проф.
Н.В. Білак, к.т.н.

МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІКИ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА ТА СТОХАСТИЧНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ЗБУРЮЮТЬ ЙОГО СТАБІЛІЗАЦІЮ

Національний авіаційний університет
E-mail: natabilak@mail.ru

Запропоновано методологію і алгоритми структурної ідентифікації за даними натурного (напівнатурного) експерименту моделей динаміки прототипу складного багатовимірного, стабілізованого в необхідному положенні у просторі рухомого об'єкта з довільною динамікою під впливом контрольованих і неконтрольованих стохастичних збурень, близьких до реальних. Шукані моделі динаміки необхідні для подальшого досягнення вищих рубежів точності процесів навігації, управління та стабілізації виробу, що створюється чи модернізується.

The article considers the new methodology and the algorithms for structural identification of the complex reference multidimensional models dynamics based on the experimental data. The reference model characterized with arbitrary dynamics is stabilized according to the required position in the space under the controlled and uncontrolled stochastic disturbances. The required models of dynamics are necessary for the performance improvement of navigation, control and stabilization processes of a new developed or a modernized device.

Предложены методология и алгоритмы структурной идентификации по данным натурного (полунатурного) эксперимента моделей динамики прототипа сложного многомерного, стабилизируемого в требуемом положении в пространстве подвижного объекта с произвольной динамикой, подверженного воздействию контролируемых и неконтролируемых стохастических возмущений, близких к реальным. Искомые модели динамики необходимы для последующего достижения высших рубежей точности процессов навигации, управления и стабилизации создаваемого или модернизируемого изделия.

Вступ

Характерними рисами розвитку сучасної авіакосмічної техніки є безперервне ускладнення новостворюваних або модернізованих виробів і необхідність забезпечення найвищих рубежів якості (точності) процесів навігації та управління, зокрема, стабілізації об'єктів у просторі й орієнтації.

Гарантоване забезпечення найвищих рубежів якості зазначених процесів безпосередньо пов'язане з успішним вирішенням проблеми максимізації точності управління рухом за умови:

- управління рухом здійснювати оптимальним за точності чином;
- впливу стохастичних збурюючих чинників оцінюватимуть спеціальними бортовими системами;

– зміни показника якості руху оцінюватимуть за допомогою спеціальної системи відновлення якості управління;

– його показник утримуватимуть на екстремальному значенні.

Із проблемою максимізації точності управління безпосередньо пов'язана проблема максимізації точності бортових кібернетичних комплексів досліджуваного об'єкта, що має багато специфічних особливостей [1].

Постановка завдання

Максимальної точності стохастичної стабілізації програмних рухів об'єкта можна досягти за умови:

- отримання значень про реальні динамічні характеристики (моделі динаміки) самого об'єкта стабілізації, системи стабілізації його руху та її основних ланок, про стохастичні впливи та завади під час руху;

– використання сучасних конкурентоспроможних технологій синтезу оптимальних за точнісних критеріях структур систем стабілізації об'єктів в основних режимах руху, системи оптимального спостереження корисної навігаційної інформації;

– проведення за спеціальними технологіями етапу структурної ідентифікації моделей динаміки в умовах функціонування об'єктів, близьких до реальних, етапів синтезу оптимальних структур системи стабілізації об'єкта та його бортових кібернетичних комплексів, етапів порівняльного аналізу якості виробів у різних варіантах їх комплектації;

– встановлення рівня конкурентоспроможності розроблюваного (модернізованого) виробу.

Базовий етап експериментального визначення (структурної ідентифікації) моделей динаміки самого об'єкта і заданих частин його бортового кібернетичного комплексу, стохастичних збурень, що діють на об'єкт, повинен виконуватися на найближчому прототипі створеного (модернізованого) виробу або сам модернізуватися на виробі у разі проведення спеціальних експериментальних натурних досліджень, що зберігають стохастичні впливи і завади реальними або близькими до реальних експлуатаційних.

Мета роботи – скласти ефективну методологію проведення етапу структурної ідентифікації складного об'єкта, що стабілізується, з довільною динамікою в динамічних умовах відповідальних режимів руху, близьких до реальних експлуатаційних.

Вирішення завдання

Найближчим прототипом досліджуваного виробу є важкий вертоліт з вантажною підвіскою в режимі висіння. У цьому режимі вертольоти виконують будівельно-монтажні роботи (цивільне застосування), бойову підтримку (військове застосування) та багато інших відповідальних завдань [2].

У роботах [1; 2] запропоновано ефективні алгоритми структурної ідентифікації моделей динаміки складного стійкого об'єкта з контрольованими та неконтрольованими стохастичними збуреннями, виконаної за даними натурного (напівнатурного) експерименту.

У роботі [3] описано необхідні перетворення структурної схеми та рівняння руху нестійкого об'єкта для проведення етапу структурної ідентифікації моделей його динаміки за даними натурних або близьких до них експериментальних досліджень.

За аналогією можна скласти структурну схему (рис. 1) нестійкого багатовимірного об'єкта, що стабілізується, схильного до дії контрольованих (вектор ζ) і неконтрольованих (вектор ψ_2) збурень.

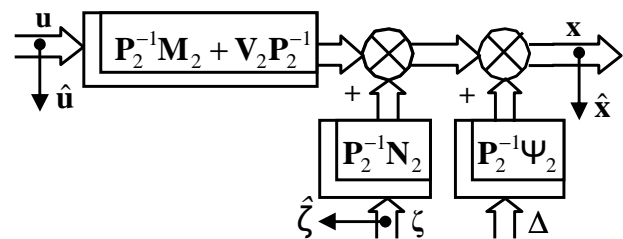


Рис. 1. Структурна схема об'єкта ідентифікації в процесі натурного експерименту

Для можливості функціонування в режимі стабілізації нестійкого об'єкта слід використовувати спеціальні стабілізуючі контури.

Під час стабілізації, наприклад, нестійкого вертольота з вантажною підвіскою в режимі висіння роль додаткового стабілізуючого контура може виконувати пілот спільно з демпфірувальним каналом автопілота.

На рис. 1 блоками зображено такі шукані матриці передавальних функцій (частотних характеристик) об'єкта:

– від вектора управління u до вектора вихідних сигналів x об'єкта $P_2^{-1}M_2 + V_2P_2^{-1}$, причому відома після первинного оброблення сигналів функція V_2 [3] нестійка, функція F_2^{-1} відома;

– від вектора контрольованих збурень ζ до вектора x – $P_2^{-1}N_2$;

– від вектора неконтрольованих «білих» шумів Δ до вектора x – $P_2^{-1}\psi_2$.

На рис. 1 стрілками вказані вимірювані у разі експерименту за допомогою спеціальних оптимальних спостерігачів вектори x , u , ζ (\hat{u} , \hat{x} , $\hat{\zeta}$ – результати оптимального спостереження зазначених векторів сигналів).

Рух приведенного нестійкого об'єкта (рис. 1) можна описати системою звичайних диференціальних рівнянь, перетворених за Лапласом

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2 + \mathbf{V}_2\mathbf{F}_2^{-1})\hat{\mathbf{u}} + \mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{N}_2\hat{\boldsymbol{\zeta}} + \mathbf{P}_2^{-1}\boldsymbol{\Psi}_2\Delta, \quad (1)$$

де $\hat{\mathbf{x}}$ – оцінка n -вимірному вектора \mathbf{x} вихідних сигналів об'єкта ідентифікації,

$\hat{\mathbf{u}}$ – оцінка m -вимірному вектора управління \mathbf{u} ;

$\hat{\boldsymbol{\zeta}}$ – оцінка ν -вимірному вектора контрольованих випадкових стаціонарних збурень;

$\boldsymbol{\Psi}_2$ – n -вимірний вектор випадкових неконтрольованих збурень:

$$\boldsymbol{\Psi}_2 = \boldsymbol{\Psi}_2\Delta.$$

Вважаючи завади вимірювань урахованими при оцінюванні сигналів \mathbf{x} , \mathbf{u} , $\boldsymbol{\zeta}$ за осцилограмами цих сигналів, записаних під час проведення експерименту, за допомогою теореми [1] Вінера–Хінчина можна оцінити матриці спектральних і взаємних спектральних щільностей вимірюваних сигналів:

$$\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}, \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{u}}}, \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}, \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}, \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}, \mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}, \mathbf{S}'_{\boldsymbol{\Psi}_2\boldsymbol{\Psi}_2},$$

$$\mathbf{S}'_{\Delta\Delta} = \mathbf{E}_n, \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\Delta} = \mathbf{S}'_{\Delta\hat{\mathbf{u}}} = \mathbf{0}_n,$$

де «'» – знак транспонування.

Отримані зазначеним способом матриці спектральних і взаємних спектральних щільностей мають вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} &= \langle \hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}^* \rangle = (\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2 + \mathbf{V}_2\mathbf{F}_2^{-1})\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}} \times \\ &\times (\mathbf{M}_{2*}\mathbf{P}_{2*}^{-1} + \mathbf{F}_2^{-1}\mathbf{V}_{2*}) + (\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2 + \mathbf{V}_2\mathbf{F}_2^{-1}) \times \\ &\times \mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}} \mathbf{N}_{2*}\mathbf{P}_{2*}^{-1} + \mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{N}_2\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}} \mathbf{N}_{2*}\mathbf{P}_{2*}^{-1} + \mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{N}_2\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}} \times \\ &\times (\mathbf{M}_{2*}\mathbf{P}_{2*}^{-1} + \mathbf{F}_2^{-1}\mathbf{V}_{2*}) + \mathbf{P}_2^{-1}\boldsymbol{\Psi}_2\mathbf{S}'_{\Delta\Delta}\boldsymbol{\Psi}_{2*}\mathbf{P}_{2*}^{-1}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}} = \langle \hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}^* \rangle = (\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2 + \mathbf{V}_2\mathbf{F}_2^{-1})\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}} + \mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{N}_2\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}; \quad (3)$$

$$\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}} = \langle \hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}^* \rangle = (\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2 + \mathbf{V}_2\mathbf{F}_2^{-1})\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}} + \mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{N}_2\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}, \quad (4)$$

де «*» – знак ермітова спряження.

У рівняннях (2), (3), (4) всі введені матриці передавальних функцій об'єкта $\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2 + \mathbf{V}_2\mathbf{F}_2^{-1}$, $\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2$, $\mathbf{P}_2^{-1}\boldsymbol{\Psi}_2$ підлягають визначенню.

Вирішуючи спільно систему рівнянь (3), (4), визначимо таке:

$$\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{M}_2 + \mathbf{V}_2\mathbf{F}_2^{-1} = \mathbf{A} = [\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}(\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}})^{-1}\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}} - \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}] \times \\ \times [\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}(\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}})^{-1}\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}} - \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}]^{-1}; \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_2^{-1}\mathbf{N}_2 = \mathbf{B} = [\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}(\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}})^{-1}\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\mathbf{u}}} - \mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}] \times \\ \times [\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}(\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}})^{-1}\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\mathbf{u}}} - \mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}]^{-1}. \quad (6)$$

Підставивши рівняння (5), (6) у вираз (2) і розв'язавши останній щодо функції $\mathbf{P}_2^{-1}\boldsymbol{\Psi}_2\mathbf{E}_n\boldsymbol{\Psi}_{2*}\mathbf{P}_{2*}^{-1}$, отримаємо:

$$\mathbf{P}_2^{-1}\boldsymbol{\Psi}_2\boldsymbol{\Psi}_{2*}\mathbf{P}_{2*}^{-1} = \mathbf{L} \cdot \mathbf{L}_* = \mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} - \mathbf{A}\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}\mathbf{A}_* - \mathbf{B}\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}\mathbf{B}_* - \\ - \mathbf{A}\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\mathbf{u}}}\mathbf{B}_* - \mathbf{B}\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}\mathbf{A}_*, \quad (7)$$

або

$$\mathbf{L} = \mathbf{P}_2^{-1}\boldsymbol{\Psi}_2 = \\ = [\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} - \mathbf{A}\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\mathbf{u}}}\mathbf{A}_* - \mathbf{B}\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}\mathbf{B}_* - \mathbf{A}\mathbf{S}'_{\hat{\boldsymbol{\zeta}}\hat{\mathbf{u}}}\mathbf{B}_* - \mathbf{B}\mathbf{S}'_{\hat{\mathbf{u}}\hat{\boldsymbol{\zeta}}}\mathbf{A}_*]^+, \quad (8)$$

де «+» – знак вінерівської факторизації матриці.

Рівняння (5)–(8) являють собою результат структурної ідентифікації моделей динаміки об'єкта, що отримані безпосередньо за даними експериментальних досліджень його прототипу.

Дані, отримані у ході експериментів, дозволяють ідентифікувати реальні взаємні зв'язки векторів управління \mathbf{u} і виходів об'єкта \mathbf{x} з вектором $\boldsymbol{\zeta}$, що визначає контрольоване збурення, яке діє на об'єкт стабілізації. У варіанті з вертольотом вектор $\boldsymbol{\zeta}$ характеризує переміщення вантажної підвіски.

Структурну схему, що відображає взаємодію зазначених векторів сигналів, показано на рис. 2.

Ідентифікації підлягають матриці взаємозв'язків \mathbf{W}_x^ζ і \mathbf{W}_u^ζ векторів \mathbf{x} та \mathbf{u} з вектором $\boldsymbol{\zeta}$ і не випадкові динамічні характеристики

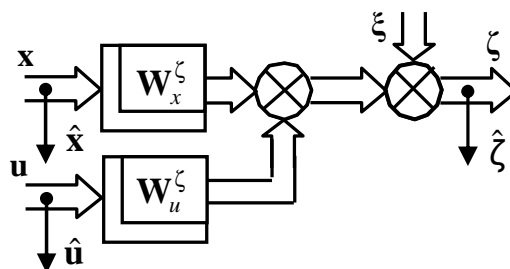


Рис.2. Структурна схема, яка пояснює взаємні зв'язки векторів \mathbf{x} , \mathbf{u} , $\boldsymbol{\zeta}$

вектора шумів ξ , що виникають при взаємодії, які не корельовані з сигналами x та u , зокрема, матриця спектральних щільностей шуму $S'_{\xi\xi}$.

Рівняння руху тракту (рис. 2) може виглядати так:

$$\zeta = (W_x^\zeta, W_u^\zeta) \begin{pmatrix} \hat{x} \\ \hat{u} \end{pmatrix} + \hat{\xi} = \Phi_0 \hat{z} + \hat{\xi}.$$

У результаті первинного оброблення сигналів, показаних на рис. 2 стрілками, отримано матриці спектральних і взаємних спектральних щільностей $S'_{\hat{x}\hat{x}}$, $S'_{\hat{u}\hat{x}}$, $S'_{\hat{x}\hat{u}}$, $S'_{\hat{u}\hat{u}}$ ($S'_{\xi\hat{x}}$, $S'_{\xi\hat{u}}$, $S'_{\xi\hat{\xi}}$, $S'_{\hat{\xi}\xi}$ покладаються нульовими).

За допомогою теореми Вінера–Хінчина можна визначити наступні матриці спектральних і взаємних спектральних щільностей:

$$S'_{\xi\xi} = W_x^\zeta S'_{\hat{x}\hat{x}} W_{x*}^\zeta + W_x^\zeta S'_{\hat{u}\hat{x}} W_{u*}^\zeta + W_u^\zeta S'_{\hat{x}\hat{u}} W_{x*}^\zeta + W_u^\zeta S'_{\hat{u}\hat{u}} W_{u*}^\zeta + S'_{\xi\xi};$$

$$S'_{\hat{x}\xi} = \langle \hat{z} \hat{x}^* \rangle = W_x^\zeta S'_{\hat{x}\hat{x}} + W_u^\zeta S'_{\hat{x}\hat{u}}; \quad (9)$$

$$S'_{\hat{u}\xi} = \langle \hat{z} \hat{u}^* \rangle = W_x^\zeta S'_{\hat{u}\hat{x}} + W_u^\zeta S'_{\hat{u}\hat{u}}; \quad (10)$$

$$S'_{\xi\xi} = S'_{\xi\xi}.$$

Вирішуючи сумісно системи рівнянь (9) і (10), отримуємо

$$\begin{aligned} W_x^\zeta &= A_0 = [S'_{\hat{x}\hat{x}} - S'_{\hat{u}\hat{x}} (S'_{\hat{u}\hat{u}})^{-1} S'_{\hat{x}\hat{u}}] \times \\ &\times [S'_{\hat{x}\hat{x}} - S'_{\hat{u}\hat{x}} (S'_{\hat{u}\hat{u}})^{-1} S'_{\hat{x}\hat{u}}]^{-1}; \\ W_u^\zeta &= B_0 = [S'_{\hat{u}\hat{x}} - S'_{\hat{x}\hat{x}} (S'_{\hat{x}\hat{x}})^{-1} S'_{\hat{x}\hat{u}}] \times \\ &\times [S'_{\hat{u}\hat{x}} - S'_{\hat{x}\hat{x}} (S'_{\hat{x}\hat{x}})^{-1} S'_{\hat{x}\hat{u}}]^{-1}; \\ S'_{\xi\xi} &= S'_{\xi\xi} - A_0 S'_{\hat{x}\hat{x}} A_{0*} - A_0 S'_{\hat{u}\hat{x}} B_{0*} - B_0 S'_{\hat{x}\hat{u}} A_{0*} - \\ &- B_0 S'_{\hat{u}\hat{u}} B_{0*}. \end{aligned}$$

Таким чином, проведена необхідна ідентифікація ланок і сигналів тракту, показано на рис. 2.

Структуру об'єкта (рис. 1), що ідентифікований безпосередньо за даними натурного експерименту, в розширеному вигляді з урахуванням додаткових штатних стабілізуючих контурів показано на рис. 3.

Уточнене рівняння руху об'єкта (рис. 3) слід записати у вигляді

$$x = P_1^{-1} M_1 \Delta u + P_1^{-1} N_1 \zeta + P_1^{-1} \Psi_1 \Delta. \quad (11)$$

Підставивши в рівняння (11) моделі динаміки ланок і сигналів зі стабілізуючих контурів, отримаємо таке рівняння:

$$(E_n + P_1^{-1} M_1 W_1 K_1 - P_1^{-1} N_1 W_x^\zeta + P_1^{-1} N_1 W_u^\zeta W_1 K_1) x = (P_1^{-1} M_1 + P_1^{-1} N_1 W_u^\zeta) u - (P_1^{-1} M_1 + P_1^{-1} N_1) W_1 \phi_1 + P_1^{-1} N_1 \zeta + P_1^{-1} \Psi_1 \Delta$$

або

$$x = P_0^{-1} (M_1 + N_1 W_u^\zeta) u + P_0^{-1} N_1 \xi + P_0^{-1} \Psi_1 \Delta - P_0^{-1} (M_1 + N_1) W_1 \phi, \quad (12)$$

де

$$P_0 = [P_1 + M_1 W_1 K_1 - N_1 (W_x^\zeta - W_u^\zeta W_1 K_1)].$$

Рівняння (12) еквівалентне рівнянню (1), оскільки перше розширене уявлення останнього.

Отже, справедливі такі вирази:

$$P_0^{-1} (M_1 + N_1 W_u^\zeta) = (P_2^{-1} M_2 + V_2 F_2^{-1}) = A;$$

$$P_0^{-1} N_1 = P_2^{-1} N_2 = B; \quad P_0^{-1} \Psi_1 = P_2^{-1} \Psi_2 = L; \quad (13)$$

$$P_0^{-1} M_1 = [(P_2^{-1} M_2 + V_2 F_2^{-1}) - B W_u^\zeta] = (A - B W_u^\zeta).$$

З урахуванням виразів (5)–(8), (13) рівняння руху ідентифікованого об'єкта можна подати у вигляді

$$x = A u + B \xi + L \Delta - (A - B B_0 + B) W_1 \phi_1. \quad (14)$$

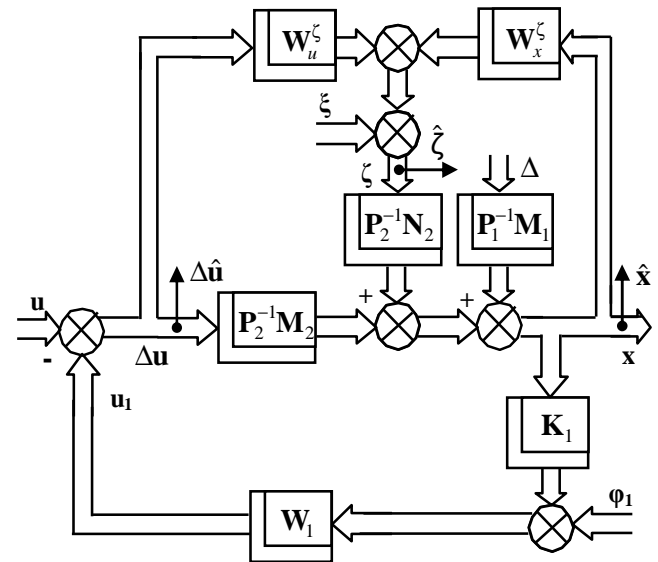


Рис. 3. Структурна схема об'єкта, ідентифікованого даними експерименту, в розширеному вигляді

Рівняння (14) зручно використовувати на наступних етапах створення або модернізації за спеціальними технологіями досліджуваного виробу та процесів його навігації і стабілізації.

Таким чином, поставлена задача складання методології ідентифікації необхідних моделей динаміки об'єкта і стохастичних збурень, що діють на нього, вирішена повністю.

Висновки

Запропоновано нову методологію визначення за даними натурного (напівнатурного) експериментальних досліджень прототипу базових моделей динаміки рухомого об'єкта для забезпечення на наступних етапах робіт вищих досяжних рубежів якості (точності) процесів навігації та стабілізації новостворюваного або модернізованого виробу.

Література

1. *Азарсков В.М.* Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: монография / В.М. Азарсков, Л.М. Блохин, Л.С. Житецкий. – К.: Кн. вид-во НАУ, 2006. – 437с.
2. *Блохин Л.М.* Алгоритм структурной идентификации моделей динамики багатомірною об'єкта / Л.М. Блохин, Ю.М. Безкоровайний, В.Г. Вовк // Вісник НАУ. – 2004. – №2. – С. 59–62.
3. *Блохин Л.Н.* Технология структурной идентификации и последующего синтеза оптимальных систем стабилизации неустойчивых динамических объектов / Л.Н. Блохин, С.И. Осадчий, Ю.Н. Безкоровайный // Проблемы управления и информатики. – 2007. – №6. – С. 57–65.

Стаття надійшла до редакції 14.01.2011.